

# Procesamiento Paralelo sobre Clusters, Multiclusters y Grid. Aplicaciones.

**Armando E. De Giusti, Marcelo R. Naiouf, Horacio Villagarcía, Laura C. De Giusti,  
Franco Chichizola, Mónica Denham, Ismael P. Rodriguez, Adrián Pousa, José E.  
Pettoruti, Diego Montezanti**

**Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI)**

**Facultad de Informática – UNLP**

{deggiusti, mnaiouf, hvw, ldgiusti, francoch, mdenham, ismael, apousa, josep, dmontezanti}@lidi.info.unlp.edu.ar

## CONTEXTO

Esta línea de Investigación forma parte de dos de los Subproyectos dentro del Proyecto “Sistemas Distribuidos y Paralelos” acreditado por la UNLP y de proyectos específicos apoyados por CyTED, CIC, Agencia e IBM.

## RESUMEN

Esta línea de I/D se enfoca en la caracterización de las arquitecturas de procesamiento paralelo basadas en sistemas distribuidos tales como clusters, multiclusters y grid con el objetivo de analizar y predecir performance de aplicaciones paralelas numéricas y no numéricas.

Al mismo tiempo se desarrolla un conjunto de aplicaciones específicas sobre clusters, multiclusters y grid para resolver problemas concretos, con diferentes paradigmas de programación paralela. En todos los casos se analiza performance, balance de carga, rendimiento y escalabilidad.

En relación con este proyecto se ha iniciado una línea en codiseño hardware/software con énfasis en la migración a hardware de algoritmos paralelos que incluyan tolerancia a fallas.

**Keywords:** *Sistemas Paralelos. Cluster, multicluster y grid. Codiseño hardware-software.*

## 1. INTRODUCCION

Es indiscutible la importancia actual del procesamiento paralelo y distribuido. En particular la utilización de arquitecturas de “cluster” de PCs es creciente por la relación costo/performance alcanzable. A partir de los clusters aparecen nuevas arquitecturas paralelas, generadas por la interconexión de clusters a través de redes LAN y WAN. En esta línea se agrega en los últimos años la utilización de arquitecturas GRID donde sobre un sistema distribuido débilmente acoplado (por ejemplo en una red WAN sobre Internet) se comparten múltiples computadoras heterogéneas trabajando como una máquina paralela virtual. A diferencia de un multicluster dedicado, aquí las máquinas pueden compartir aplicaciones locales y remotas. [1], [2], [3], [4], [5], [6]

Los problemas clásicos de performance, escalabilidad, heterogeneidad del hardware, balance dinámico de carga y overhead de comunicaciones, que caracterizan el estudio de algoritmos paralelos, reaparecen potenciados por las dificultades propias de la interconexión a través de una red no dedicada como puede ser Internet. [7], [8], [9].

Por otra parte es necesario el desarrollo de nuevos modelos de predicción y análisis de performance para estas arquitecturas, lo que requiere caracterizar el contexto de comunicaciones entre los procesadores y la asociación entre los algoritmos de aplicación, el paradigma de cómputo

paralelo elegido y la arquitectura de soporte. [10], [11], [12].

El cómputo paralelo en clusters se ha establecido desde hace varios años como una alternativa con grandes ventajas en cuanto a la relación costo/beneficio para resolver problemas numéricos y no numéricos con grandes requerimientos de rendimiento en el ámbito de procesamiento masivo de datos, y en esta línea existen numerosas contribuciones de este proyecto en el III-LIDI que se pueden encontrar en [www.lidi.info.unlp.edu.ar](http://www.lidi.info.unlp.edu.ar).

A partir de las arquitecturas de cluster y multicluster se generan nuevos modelos de cómputo distribuido/paralelo que convergen en las tecnologías grid.

El grid ha surgido recientemente en el ámbito de la supercomputación para satisfacer las necesidades de ciertos proyectos científicos, bien por requerir una enorme capacidad de cálculo (“Computational Grids”) o bien por manejar ingentes cantidades de datos (“Data Grids”).

Durante este tiempo se ha producido un gran avance en el desarrollo de elementos software intermedios (“middleware”), necesarios en este tipo de aplicaciones, como ayuda adicional para la gestión de recursos distribuidos, seguridad, etc. Sin embargo, el desarrollo de aplicaciones que se asienten sobre la tecnología grid sigue siendo, hoy por hoy, una labor casi artesanal, principalmente porque la distancia entre los conceptos requeridos por las aplicaciones y los proporcionados por el middleware es todavía demasiado grande. [13], [14].

Para facilitar el desarrollo mencionado existen propuestas tales como:

- Herramientas de alto nivel para la especificación y diseño de aplicaciones sobre grid.
- Monitorización y optimización de recursos sobre un sistema grid. Análisis dinámico de la asignación de procesos y datos a los componentes del grid.

- Tolerancia a fallas en arquitecturas de multicluster y grid.

En el proyecto (en conjunto con otras Universidades) se propone investigar la inclusión/desarrollo de herramientas que, de la forma más transparente posible, permitan el desarrollo de aplicaciones tolerantes a fallos, tanto secuenciales, como paralelas.

Las soluciones propuestas deben ser portables a distintas plataformas para que puedan ser útiles en entornos heterogéneos como los sistemas grid. Los desarrollos que resulten podrán además ser aplicados a la migración de procesos entre nodos diferentes del sistema distribuido con el objetivo de balancear la carga.

En la actualidad, existen múltiples aproximaciones para la creación de una arquitectura grid genérica mediante la definición de protocolos grid estándares que permitan la interoperabilidad entre diferentes sistemas: definición de servicios, interfaces de aplicaciones y herramientas de desarrollo de software. Sin embargo, todavía no se ha impuesto ningún modelo concreto y aunque a nivel conceptual el acuerdo es grande, a nivel de aplicación el consenso es difícil. La actividad en este campo a nivel mundial es muy importante y es en la fase de desarrollo de una nueva tecnología donde es vital la contribución de la comunidad científica. [15], [16].

Las aplicaciones que serán utilizadas como banco de pruebas de la tecnología grid en este proyecto son las siguientes:

- Algoritmos de tratamiento de imágenes (en particular de reconstrucción 3D).
- Algoritmos de reconocimiento de secuencias (en particular de ADN o genómicas).
- Algoritmos de simulación paramétrica (en particular de fenómenos naturales como incendios o inundaciones).

Por otra parte, el proyecto contempla una línea dedicada a la migración de algoritmos a hardware dado que los requerimientos de

performance y la respuesta en tiempo real exigida por numerosas aplicaciones paralelas (ej. control de robots o identificación automática) hacen conveniente/necesaria dicha migración. [17], [18].

La investigación de los sistemas “on chip” en las técnicas de co-diseño hard/soft que llevan a su optimización y en el control en tiempo real de fallas estáticas y dinámicas de los SOC's son puntos importantes en el desarrollo actual de la tecnología que tiende a mejorar la eficiencia de los sistemas distribuidos de tiempo real.[19]

En el ámbito de este proyecto se presenta una línea dedicada a Tolerancia a fallas en SOC, Co-diseño Hardware/Software de sistemas embebidos y Migración de algoritmos a hardware que incluye la simulación y evaluación de arquitecturas de multiprocesamiento integradas.

## **2. LINEAS DE INVESTIGACION y DESARROLLO**

- Sistemas distribuidos y paralelos. Cluster, multicluster y grid. Caracterización de performance.
- Algoritmos paralelos. Ajuste de los algoritmos al modelo de arquitectura. Optimización de algoritmos.
- Lenguajes para procesamiento paralelo en sistemas distribuidos. Bibliotecas de comunicaciones.
- Paradigmas de programación paralela sobre sistemas distribuidos.
- Análisis (teórico y práctico) de los problemas de migración y asignación óptima de procesos y datos a procesadores. Métricas del paralelismo.
- Modelos de predicción de performance en arquitecturas multicluster y grid.
- Modelos de administración de recursos en arquitecturas paralelas distribuidas.
- Caracterización de rendimiento de cómputo y de las comunicaciones en clusters e interclusters.

- Desarrollo de bibliotecas de cómputo paralelo y comunicaciones para cómputo en clusters, multiclusters y grid.
- Optimización de algoritmos sobre multiclusters heterogéneos.
- Aplicaciones de simulación paramétrica en problemas ambientales sobre grid.
- Aplicaciones de tratamiento de imágenes y reconstrucción 3D sobre grid.
- Codiseño Hardware/Software de sistemas embebidos. Análisis de performance.
- Migración de algoritmos paralelos a hardware.
- Tolerancia a fallas en SOC.

## **3. RESULTADOS OBTENIDOS/ESPERADOS**

- ✓ Formar recursos humanos en los temas de sistemas distribuidos y paralelos, incluyendo tesis de postgrado.
- ✓ Modelizar el comportamiento de clusters y multiclusters homogéneos y heterogéneos, sobre redes LAN y WAN. (en desarrollo)
- ✓ Estructurar un GRID con al menos 3 Universidades del país (realizado) y Universidades del exterior. (en curso con 14 países involucrados).
- ✓ Proporcionar una o un conjunto reducido de métricas que describa satisfactoriamente el rendimiento de cómputo paralelo en clusters, multiclusters y grid (sujeto a restricciones). (en desarrollo)
- ✓ Desarrollar primitivas de comunicaciones orientadas a cómputo paralelo en multicluster.
- ✓ Desarrollar aplicaciones sobre cluster, multicluster y grid evaluando los modelos desarrollados de predicción de performance.
- ✓ Desarrollar y poner a disposición bibliotecas específicas (álgebra lineal,

tratamiento de imágenes) para ejecutar sobre multicluster y grid.

- ✓ Iniciar la formación de recursos humanos en los temas de arquitectura de procesadores dedicados “on chip”, incluyendo tesinas de grado y maestría.
- ✓ Establecer metodologías para la migración de algoritmos a hardware on chip.
- ✓ Obtención, por diseño y simulación, de elementos de biblioteca para SOC autoverificables (bloques IP).

#### **4. FORMACION DE RECURSOS HUMANOS**

En esta línea de I/D existe cooperación a nivel nacional e internacional. Hay 3 Investigadores realizando su Doctorado en Argentina y 1 en el exterior. Asimismo 3 alumnos avanzados están trabajando en su Tesis de Grado de Licenciatura.

#### **5. BIBLIOGRAFIA**

[1] Grama A., Gupta A., Karypis G., Kumar V. “Introduction to Parallel Computing”. Second Edition. Addison Wesley, 2003.

[2] Basney J., Livny M.. "Deploying a High Throughput Computing Cluster". R. Buyya Ed., High Performance Cluster Computing: Architectures and Systems, Vol. 1, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, pp. 116-134, 1999.

[3] Foster I., Kesselman C., Kaufmann M. “The Grid 2: Blueprint for a New Computing Infrastructure”. The Morgan Kaufmann Series in Computer Architecture and Design. 2 edition (November 18, 2003).

[4] Juhasz Z. (Editor), Kacsuk P. (Editor), Kranzlmuller D. (Editor). “Distributed and Parallel Systems: Cluster and Grid Computing”. The International Series in

Engineering and Computer Science. Springer; 1 edition (September 21, 2004)

[5] Hoschek W., Jaen-Martinez J., Samar A., Stockinger H., Stockinger K. “Data Management in an International Data Grid Project”. International Workshop on Grid Computing, Springer-Verlag 2000.

[6] Berman F.(Editor), Fox G.(Editor), Hey A.(Editor). “Grid Computing: Making The Global Infrastructure a Reality”. John Wiley & Sons (April 8, 2003).

[7] Bohn C, Lamont G. “Load Balancing for Heterogeneous Clusters of PCs”. Future Generation Computer Systems, Elsevier Science B.V., Vol 18, 2002, pp 389-400.

[8] Jiang, Yeung. “Scalable Inter-Cluster Communication System for Clustered Multiprocessors”. 1997.

[9] Ogura S, Nakada H, Matsuoka S. “Evaluation of the inter-cluster data transfer on Grid environment”. Proceedings of CCGrid 2003, pp. 374-381, May 2003.

[10] Al-Jaroodi J, Mohamed N, Jiang H, Swanson D. “Modeling Parallel Applications Performance on Heterogeneous System ”. IEEE Computer Society, 2003.

[11] De Giusti A., Naiouf M., De Giusti L., Chichizola F. “Dynamic Load Balancing in Parallel Processing on Non-Homogeneous Clusters”. Journal of Computer Science & Technology (JCS&T), Vol. 5, N° 4. Diciembre 2005, pp. 272-278.

[12] Leopold C. "Parallel and Distributed Computing. A survey of Models, Paradigms, and Approaches". Wiley Series on Parallel and Distributed Computing. Albert Zomaya Series Editor, 2001.

[13] Talwar V., Agarwalla B., Basu S., Kumar R., Nahrstedt K. “Architecture for Resource Allocation Services supporting

Interactive Remote Desktop Sessions in Utility Grids". Proceedings of the 2nd workshop on Middleware for grid computing, 2004.

[14] Goldman. "Scalable Algorithms for Complete Exchange on Multi-Cluster Networks". CCGRID'02, IEEE/ACM, Berlin, p. 286 - 287, 2002.

[15] Joseph J., Fellenstein C. "Grid Computing". On Demand Series. IBM Press (December 30, 2003).

[16] Minoli D. "A Networking Approach to Grid Computing". Wiley-Interscience (October 15, 2004).

[17] Ahmed Amine Jerraya and Wayne Wolf. "Multiprocessor Systems-on-Chips". Morgan Kaufmann Publishers, 2005.

[18] Ricardo Reis and Jochen A.G. Jess Editors. "Design Of System On A Chip. Devices and Components". Kluwer Academic Publishers, 2004.

[19] Qing Li and Carolyn Yao. "Real-Time Concepts For Embedded Systems". CMP Books, 2003.

Colección "IEEE Transaction on Parallel and Distributed Systems".

IEEE Task Force on Cluster Computing  
<http://www.ieeetfcc.org/>

Grid.Org: <http://www.grid.org/>

Globus Alliance <http://www.globus.org/>